

## БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 656.71–046.32 (045)

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.89.0.59

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ ВІД БАГАТОКОЛІСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НАДВАЖКОГО ЛІТАКА

Белятинський А. О., Першаков В. М., Талах С. М., Дубик О. М.  
Національний авіаційний університет

*Анотація.* У статті виконано чисельні дослідження напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів від багатоколісного навантаження надважкого літака. Проаналізовані публікації в сфері розрахунку та конструювання жорстких аеродромних покриттів. За результатами чисельного розрахунку побудовані епюри згинальних моментів, переміщень та реакцій ґрунтової основи.

*Ключові слова:* аеродромне покриття, надважке крупнофюзеляжне повітряне судно, напружено-деформований стан, чисельний розрахунок.

**Вступ**

На сьогоднішній день у зв'язку зі збільшенням підйомної маси сучасних повітряних суден, які експлуатуються у вітчизняних та закордонних аеропортах, особливої актуальності набула проблема вдосконалення методики розрахунку жорстких аеродромних покриттів, а саме від впливу надважких крупнофюзеляжних повітряних суден.

Чинний в Україні нормативний документ [1], в якому прописано методики розрахунків аеродромних покриттів, має суттєві недоліки. Відповідно до норм [1] на проектування аеродромів неможливо врахувати дійсну взаємодію плит скінченних розмірів. Для того щоб усунути цей недолік у методиці розрахунку жорстких аеродромних покриттів, запропоновано використати найбільш ефективний з відомих чисельних методів – метод скінченних елементів (МСЕ) [2–14].

**Аналіз публікацій**

Наукові дослідження, пов'язані з розрахунком і конструюванням жорстких аеродромних покриттів, постійно розвиваються [2, 3, 11, 12]. У різні часи пропонувались різні методи досліджень напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів.

Основною базою в розробці механіко-математичних моделей, які адекватно відображають роботу конструкції жорсткого аеродромного покриття під навантаженням від надважких крупнофюзеляжних повітряних суден у процесі взаємодії з ґрунтовою основою, є чисельні методи, отримані в теорії

будівництва та експлуатації аеродромів.

У цьому напрямі досліджень треба відзначити публікації вітчизняних та закордонних учених [2–14].

На основі проведеного детального аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що нормативний метод розрахунку не повною мірою адекватно відображає реальний просторовий характер навантаження жорстких аеродромних покриттів у їх взаємодії з активними шарами ґрунтової основи. Чисельні ж математичні та топологічні моделі максимально наближені до реальних конструкцій жорстких аеродромних покриттів.

**Мета і постановка завдання**

Метою є визначення напружено-деформованого стану жорсткого аеродромного покриття від дії багатоколісного надважкого літака з урахуванням реального просторового навантаження.

Для досягнення поставленої мети виконано порівняльний аналіз результатів аналітичного розрахунку на міцність аеродромного покриття, виготовленого за чинними нормативними документами [1], та чисельного розрахунку, отриманого на основі МСЕ.

**Розрахунки конструкції покриття злітно-посадкової смуги**

Розрахунки конструкції покриття злітно-посадкової смуги виконуються на прикладі аеропорту «Антонов» (м. Гостомель). Зведений інженерно-геологічний розріз на ділянці злітно-посадкової смуги наведений на рис. 1.

Верхній шар покриття – твердий, виконаний з бетону класу В 40 завтовшки 28 см.

Нижній шар покриття – твердий, виготовлений з бетону класу В 15 завтовшки 22 см.

Жорстка основа – тверда, укріплена бетоном класу В 3,5.

### Аналітичний розрахунок

Аналітичний розрахунок полягає у спрощенні задачі за рахунок уведення низки допущень та нехтування деяких умов, вплив яких на результат буде незначним.



Рис. 1. Зведений геологічний розріз ділянки покриття злітно-посадкової смуги аеропорту «Антонов» (м. Гостомель)

Згідно з [1] для визначення коефіцієнта постелі необхідно мати три типи геологічних елементів, але в ході геологічних вишукувань знайдено п'ять шарів.

Тому необхідно звести найменші за потужністю шари ґрунту із приведенням їх коефіцієнтів до середнього значення за формулами:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i. \quad (1)$$

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n K_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}. \quad (2)$$

Коефіцієнт постелі для кожного з п'яти шарів становить:

$$K_1 = 50 \text{ МН/м}^3, K_2 = 60 \text{ МН/м}^3,$$

$$K_3 = 30 \text{ МН/м}^3, K_4 = 60 \text{ МН/м}^3,$$

$$K_5 = 120 \text{ МН/м}^3.$$

Звівши шари 1-2 та 4-5 (найменші за товщиною), отримано три значення коефіцієнта постелі:

$$K_I = 55,88 \text{ МН/м}^3 \rightarrow t_I = 1,7 \text{ м};$$

$$K_{II} = 30 \text{ МН/м}^3 \rightarrow t_{II} = 2,5 \text{ м};$$

$$K_{III} = 86,66 \text{ МН/м}^3 \rightarrow t_{III} = 1,8 \text{ м}.$$

Маючи три зведених шари, можна знайти еквівалентний коефіцієнт постелі:

$$K_{se} = \frac{K_{sI} + K_{sII} \cdot \alpha_2 + K_{sIII} \cdot \alpha_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3}. \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \frac{t_{II} \cdot [1,6D_r - (t_I + 0,5t_{II})]}{t_I \cdot (1,6D_r - 0,5t_I)} = 0,8416. \quad (4)$$

$$\alpha_3 = \frac{0,5 \cdot [1,6D_r - (t_I + t_{II})]^2}{t_I \cdot (1,6D_r - 0,5t_I)} = 0,1458. \quad (5)$$

$$K_{se} = 47,18 \text{ МН/м}^3.$$

За розрахункове судно прийнято літак АН-124-100. Параметри круглого колісного відбитку обчислюються за формулою:

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} \cdot k_d \cdot \gamma_f, \quad (6)$$

де  $F_d$  – розрахункове навантаження на колесо;  $n_k$  – кількість коліс основної опори ( $n_k = 10$ );  $F_n$  – навантаження на основну опору ( $F_n = 1835,1 \text{ кН}$ );  $k_d$ ,  $\gamma_f$  – коефіцієнти динамічності та підйомної сили.

$$F_d = \frac{1835,1}{10} \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 201,86 \text{ кН}. \quad (7)$$

Еквівалентний радіус колісного відбитку визначається за формулою:

$$R_e = \sqrt{\frac{F_6}{\pi \cdot p_a}} = 0,242 \text{ м}, \quad (8)$$

де  $R_e$  – еквівалентний радіус колісного відбитку;  $p_a = 1,1$  МПа – внутрішній тиск повітря у пневматиках основної опори.

Сумарна жорсткість перерізу жорсткої штучної основи становить:

$$B = 0,88 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{м}.$$

Згідно з нормативним документом [1] визначається пружна характеристика плити:

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{K_{se}}} = 1,11 \text{ м}. \quad (9)$$

Далі визначається параметр  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{R_e}{l} = 0,218. \quad (10)$$

Використовуючи зведені значення параметрів, визначаються вклади від дії всіх коліс основної опори розрахункового літака Ан-124-100 у функцію погонного згинального моменту в центрі плити (рис. 2).

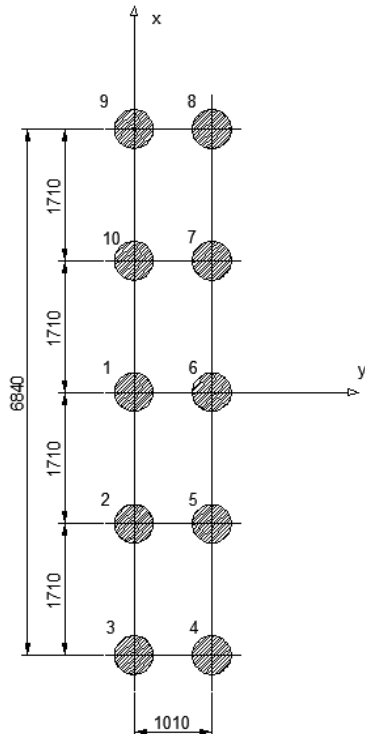


Рис. 2. Навантаження основної опори Ан-124-100

Максимальне значення розрахункового згинального моменту з урахуванням стикових

з'єднань та нерівномірності залишкових деформацій становить  $m_d = 73,63$  кН·м/м.

### Чисельний розрахунок

Еквівалентні характеристики умовної плити відповідно до [2] становлять

$$b_l = 100 \text{ см}; h_l = 60 \text{ см}; E_{(e)} = 2,753 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\gamma_{(e)} = 0,002349 \text{ кгс/см}^2.$$

Далі визначаються еквівалентні пневмовідбиткам квадрати та матриці навантажень цього відбитку:

$$a = R_{(e)} \cdot \sqrt{\pi} \approx 43 \text{ см}. \quad (11)$$

Основні елементи матриці навантажень відбитку визначаються за формулами:

$$Q_1 = \frac{a^2}{4} \cdot p_a = 5084,75 \text{ кг}. \quad (12)$$

$$Q_2 = \frac{a^2}{8} \cdot p_a = 2542,38 \text{ кг}. \quad (13)$$

$$Q_3 = \frac{a^2}{16} \cdot p_a = 1271,19 \text{ кг}. \quad (14)$$

Повне навантаження на колесо становить:

$$P = a^2 \cdot p_a = 20339 \text{ кг}. \quad (15)$$

Дискретна модель побудована так, що основне ліве середнє колесо збігається з центром плити. Тобто забезпечується можливість порівняння аналітичного та чисельного розрахунків.

Фрагменти топологічної моделі колісних відбитків на розрахунковій схемі покриття мають такі сіткові координати  $S_1, S_2$  початків та кінців фрагмента колісного навантаження:

$$1) N_2^1 = 8; N_3^1 = 25; k_2^1 = 10; k_3^1 = 27;$$

$$2) N_2^2 = 8; N_3^2 = 19; k_2^2 = 10; k_3^2 = 21;$$

$$3) N_2^3 = 8; N_3^3 = 13; k_2^3 = 10; k_3^3 = 15;$$

$$4) N_2^4 = 12; N_3^4 = 13; k_2^4 = 14; k_3^4 = 15;$$

$$5) N_2^5 = 12; N_3^5 = 19; k_2^5 = 14; k_3^5 = 21;$$

$$6) N_2^6 = 12; N_3^6 = 25; k_2^6 = 14; k_3^6 = 27;$$

$$7) N_2^7 = 12; N_3^7 = 31; k_2^7 = 14; k_3^7 = 33;$$

$$8) N_2^8 = 12; N_3^8 = 37; k_2^8 = 14; k_3^8 = 39;$$

- 9)  $N_2^9 = 8; N_3^9 = 37; k_2^9 = 10; k_3^9 = 39;$   
 10)  $N_2^{10} = 8; N_3^{10} = 31; k_2^{10} = 10; k_3^{10} = 33.$

Початки сіткових координат  $S_1, S_2, S_3$  та глобальних координат  $OZ^1Z^2Z^3$  розрахункового фрагмента зв'язані вузлом № 1 (нижня обмежувальна поверхня плити) – на перетині осі симетрії (зліва) та нижньої кромки дискретної моделі:  $S_1^1 = 1; S_2^1 = 1; S_3^1 = 1$  та  $Z_1^1 = 0; Z_2^1 = 0; Z_3^1 = 0.$

Розміри сіткової ділянки становлять  $M1 \times M2 \times M3$ , або  $2 \times 29 \times 51$ , а параметри розрахункового фрагмента  $14920 \times 22420.$

Кількість вузлів у системі, що представлена на схемі (рис. 3), становить

$$N_u = 2 \times 29 \times 51 = 2958. \quad (16)$$

Це відповідає системі рівнянь рівноваги, кількість яких становить

$$k = N_u \times 3 = 2958 \times 3 = 8874. \quad (17)$$

Кількість скінченних елементів становить

$$M_{(e)} = (M_2 - 1) \times (M_3 - 1). \quad (18)$$

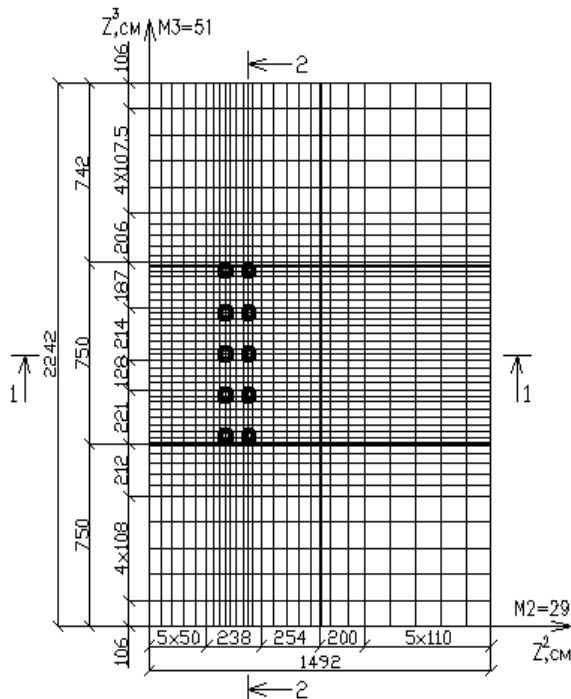


Рис. 3. Розрахункова схема симетричного фрагмента плит покриття відносно осі фізеляжу

Епюри згинальних моментів  $M^{22}$  та  $M^{33}$ , вузлових переміщень  $U^N$  та реакцій основи  $R^N$  по перерізах 1-1 та 2-2 наведені на рис. 4 і 5 відповідно.

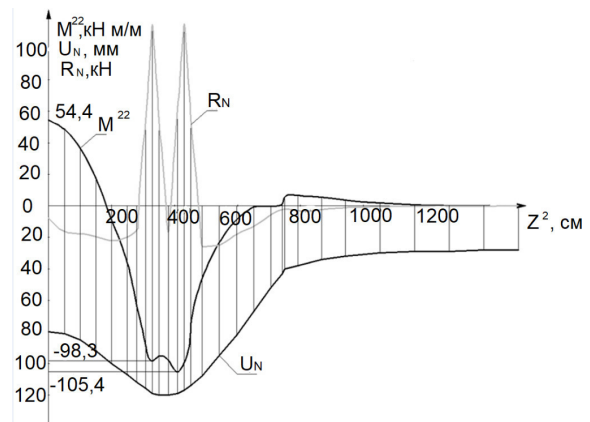


Рис. 4. Епюри згинальних моментів  $M^{22}$ , вузлових переміщень  $U^N$  та реакцій основи  $R^N$  по перерізу 1-1

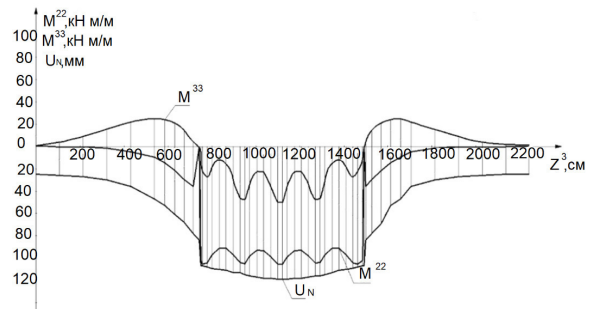


Рис. 5. Епюри згинальних моментів  $M^{22}$ ,  $M^{33}$  і вузлових переміщень  $U^N$  по перерізу 2-2

Згідно з чисельним розрахунком, у якому враховано скінченність розмірів плит і стикових з'єднань, розрахунковий згинальний момент становить  $m_d = 105,41$  кН·м/м.

Порівняно з моментом, отриманим за інженерним розрахунком, маємо

$$k = \frac{\bar{m}_d}{m_d} = \frac{105,41}{73,63} = 1,43. \quad (19)$$

Результати чисельного розрахунку за перерізами 1-1 та 2-2 наведені в табл. 1 та 2 відповідно.

Таблиця 1 – Результати чисельного розрахунку за перерізом 1-1

№ S <sub>2</sub>	№ вузла	$U_1^N$ , мм	$M_{22}^N$ , кг·м/м	$M_{22}^N$ , кН·м/м
1	1393	-0,80	5438,7	54,4
2	1395	-0,81	4853,4	48,5
3	1397	-0,85	3643,6	36,4
4	1399	-0,92	1745,5	17,5
5	1401	-1,00	-912,3	-9,1
6	1403	-1,07	-3613,8	-36,1
7	1405	-1,12	-6337,5	-63,4
8	1407	-1,16	-8871,5	-88,7
9	1409	-1,19	-9828,5	-98,3
10	1411	-1,20	-9536,1	-95,4
11	1413	-1,20	-9796,8	-98
12	1415	-1,19	-10541	-105,4
13	1417	-1,17	-9958,3	-99,6
14	1419	-1,14	-7574,8	-75,7
15	1421	-1,08	-4618	-46,2
16	1423	-0,95	2323,8	-23,2
17	1425	-0,82	-862,4	-8,6
18	1427	-0,67	-57,86	-0,58
19	1429	-0,52	-19,5	-0,2
20	1431	-0,43	132,6	1,3
21	1433	-0,40	551,4	5,5
22	1435	-0,38	659,7	6,6
23	1437	-0,34	660,9	6,6
24	1439	-0,32	539,7	5,4
25	1441	-0,30	353,7	3,5
26	1443	-0,29	188,2	1,88
27	1445	-0,29	73,1	0,73
28	1447	-0,28	14,9	0,15
29	1449	-0,28	-	-

Таблиця 2 – Результати чисельного розрахунку за перерізом 2-2

№ S <sub>3</sub>	№ вузла	$U_1^N$ , мм	$M_{22}^N$ , кН·м/м	$M_{33}^N$ , кН·м/м	$R_1^N$ , кН
1	2	3	4	5	6
1	23	-0,25	0,5	0,86	28,42
2	81	-0,26	-0,44	3,78	45,33
3	139	-0,27	-0,54	8,87	26,37
4	197	-0,30	-1,55	15,46	-12,4
5	255	-0,36	-4,98	21,82	-89,2

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6
6	313	-0,47	-9,68	24,74	-162
7	371	-0,53	-14,73	23,98	-132
8	429	-0,61	-21,39	21,01	-165
9	487	-0,68	-29,66	14,59	-199
10	545	-0,78	-35,83	4,12	-200
11	603	-0,84	-0,4	-1,17	-124
12	661	-1,07	-102,05	-11,46	-71,7
13	719	-1,07	-105,29	-22,2	1137
14	777	-1,08	-104,35	-27,11	2341
15	835	-1,09	-96,9	-18,4	1018
16	893	-1,10	-91,06	-11,95	-307
17	951	-1,11	-91,19	-15,77	-312
18	1009	-1,13	-96,99	-30,31	-319
19	1067	-1,13	-103,88	-46,51	999
20	1125	-1,15	-104,91	-47,48	2321
21	1183	-1,16	-98,03	-33,79	993
22	1241	-1,17	-92,97	-22,66	-334
23	1299	-1,18	-93,24	-23,13	-337
24	1357	-1,19	-98,84	-35,26	-339
25	1415	-1,19	-105,41	-49,93	985
26	1473	-1,19	-105,41	-49,93	2312
27	1531	-1,18	-98,84	-35,26	985
28	1589	-1,18	-93,24	-23,13	-339
29	1647	-1,17	-92,97	-22,66	-337
30	1705	-1,16	-98,04	-33,78	-335
31	1763	-1,16	-104,19	-47,48	993
32	1821	-1,15	-103,88	-46,51	2321
33	1879	-1,13	-96,99	-30,31	999
34	1937	-1,11	-91,19	-15,77	-319
35	1995	-1,10	-91,06	-11,95	-312
36	2053	-1,09	-96,90	-18,4	-307
37	2111	-1,08	-104,35	-27,11	1018
38	2169	-1,07	-105,29	-22,2	2341
39	2227	-1,07	-102,05	-11,46	1137
40	2285	-1,07	-0,41	-1,17	-82
41	2343	-0,84	-35,83	4,12	-124
42	2401	-0,78	-29,66	14,59	-200
43	2459	-0,69	-21,39	21,01	-199
44	2517	-0,53	-12,68	23,97	-167
45	2575	-0,47	-9,56	24,71	-134
46	2633	-0,36	-4,9	21,74	-160
47	2691	-0,30	-1,53	15,38	-87
48	2749	-0,27	-0,53	8,83	-12
49	2807	-0,26	-0,44	3,77	26,37
50	2865	-0,25	-0,51	8,6	45,33
51	2923	-0,25	-0,2	1,3	28,42

Це майже збігається з порадами, наведеними в [2], де рекомендований коефіцієнт цього співвідношення для слабких основ визначається як  $\rho = 1,33 < 1,43$ .

А для літаків розглянутого класу, тобто АН-124-100,  $k = 1,39 \approx 1,43$ .

### Висновки

Виконано аналітичний та чисельний розрахунки жорсткого аеродромного покриття від багатокілісного навантаження надважкого літака.

Проаналізовані результати розрахунку напружено-деформованого стану жорсткого аеродромного покриття з використанням рішень, що рекомендовані чинними нормативними документами, та рішень, отриманих на основі чисельних методів.

Розрахунковий згинальний момент за результатами чисельного розрахунку в 1,43 раза більший за значення, отримане за аналітичним розрахунком. Це свідчить про те, що чисельний метод висуває більш чіткі вимоги до розрахунку жорстких аеродромних покриттів, ніж аналітичний.

### Література

1. СНиП 2.05.08 – 85. Аэродромы, 1985.
2. Цыхановский В.К., Козловец С.М., Коряк А.С. Расчет тонких плит на упругом основании методом конечных элементов: монография, 2008. 234 с.
3. Кульчицкий В.А., Макагонов В.А., Васильев Н.Б., Чеков А.Н., Романков Н.И. Аэродромные покрытия. Современный взгляд: монография, 2002. 528 с.
4. Баженов В.А., Сахаров А.С., Цыхановский В.К. Моментная схема метода конечных элементов в задачах механики сплошной среды // Прикладная механика. 2002. Т. 38 (48). № 6. С. 24–63.
5. Баженов В.А., Цыхановський В.К., Кислюк В.М. Метод скінчених елементів у задачах нелінійної механіки суцільного середовища: монографія, 2000. 386 с.
6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 541 с.
7. Шимановский А.В., Цыхановский В.К., Талах С.М. Оптимизация комбинированных пространственных систем: монография, 2012. 462 с.
8. Zotsenko N.L., Vinnikov Y.L. Long-Term Settlement of Buildings Erected on Driven Cast-In-Situ Piles in Loess Soil // Soil Mechanics and Foundation Engineering. July 2016. Volume 53. Is. 3. P. 189–195 (First Online: 31 August 2016. DOI: 10.1007/s11204-016-9384-6. © Springer Science+Business Media New York 2016).

9. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods // Proc. of XIVth Danube – European Conf. on Geotechnical Eng. Bratislava: Slovak University of Technology. 2010. P. 245–253.
10. Zotsenko N., Vynnykov Yu. Cast-in-situ piles in punched holes design features // The special aspects energy and resource saving. Oradea: Oradea University Press, 2015. P. 4–34.
11. Дубик А.Н., Селенков В.Н., Талах С.М. Прочностной расчет аэродромных покрытий при слабых грунтовых основаниях // Proceeding of the 16th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. Vilnius, Lithuania: Technika, 2013. P. 55–59.
12. Дубик А.Н., Талах С.М., Белятинский А.А. Расчет напряженно-деформированного состояния активного грунтового полупространства под жесткими дорожными одеждами // Proceeding of the 18th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. Vilnius, Lithuania: Technika, 2015. P. 124–129.
13. Chau K. Numerical Methods // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris. 2013. P. 647–654.
14. Henke S., Grabe J. Numerical modeling of pile installation // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). Amsterdam: IOS Press, 2009. P. 1321–1324.

### References

1. SNiP 2.05.08. – 85. Ajerodromy, 1985.
2. Cyhanovskij V.K., Kozlovec S.M., Korjak A.S. (2008). Raschet tonkih плит na uprugom osnovanii metodom konechnyh jelementov [Calculation of thin plates on an elastic base using the finite element method]. Monograph [In Russian].
3. Kul'chickij V.A., Makagonov V.A., Vasil'ev N.B., Chekov A.N., Romankov N.I. (2002). Ajerodrom-nye pokrytija. Sovremennyj vzgljad [Airfield coverings. Modern look]. Monograph [In Russian].
4. Bazhenov V.A., Sakharov A.S., Tsykhanovsky V.K. Moment scheme of the finite element method in problems of continuum mechanics. Applied Mechanics. 2002. Vol. 38 (48), № 6. P. 24–63.
5. Bazhenov V.A., Tsykhanovsky V.K., Kislookij V.M. (2000). Metod skinchennih elementiv u zadachah nelinejnoi mehaniki sucil'nogo seredovishha [The method of skinned elements in the tasks of non-linear mechanics of a special middleware]. Monograph [In Ukrainian].
6. Zenkevich O.K. Metod konechnyh jelementov v tehnikе. Moscow: Mir. 1975. P. 541.
7. Shimanovskij A.V., Tsykhanovsky V.K., Talah S.M. (2012). Optimizacija kombinirovannyh prostranstvennyh sistem [Optimization of combined spatial systems]. Monograph [In Russian].

8. Zotsenko N.L., Vinnikov Y.L. Long-Term Settlement of Buildings Erected on Driven Cast-In-Situ Piles in Loess Soil // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – July 2016, Volume 53, Is. 3, P. 189–195 (First Online: 31 August 2016. DOI: 10.1007/s11204-016-9384-6. © Springer Science+Business Media New York 2016).
9. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods // Proc. of XIVth Danube – European Conf. on Geotechnical Eng. – Bratislava: Slovak University of Technology. – 2010. – P. 245–253.
10. Zotsenko N., Vynnykov Yu. Cast-in-situ piles in punched holes design features // The special aspects energy and resource saving. – Oradea: Oradea University Press, 2015. – P. 4–34.
11. Dubyk A.N., Selenkov V.N., Talakh S.M. Strength calculation oh airfield coatings with weak soil bases. Materialy 16-j konferencii molodyh uchenyh «Nauka – budushhee Litvy». Inzhenerija transporta i organizacija perezovok. [Proceeding of the 16th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management]. Vilnius, 2013, P. 55–59.
12. Dubyk A.N., Talakh S.M., Bieliatynskiy A.A. Raschet naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija aktivnogo gruntovogo poluprostranstva pod nezhestkimi dorozhnymi odezhdami. Materialy 18-j konferencii molodyh uchenyh «Nauka – budushhee Litvy». Inzhenerija transporta i organizacija perezovok. [Proceeding of the 18th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management]. Vilnius, 2015, P. 124–129.
13. Chau K. Numerical Methods // Proc. Of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 647–654.
14. Henke S., Grabe J. Numerical modeling of pile installation // Proc. Of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 1321–1324.

**Белятинський Андрій Олександрович**, д.т.н., проф., завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, тел. +38 099-138-05-63, beljatynskij@ukr.net.

**Талах Світлана Михайлівна**, к.т.н., доц. кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, тел. +38 095-157-01-62, svetlanatalah@gmail.com.

**Першаков Валерій Миколайович**, д.т.н., проф. кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, тел. +38 068-352-19-43, pershakov@nau.edu.ua.

**Дубик Олександр Миколайович**, к.т.н., доц. кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, тел. +38 099-102-93-27, saschadubik@ukr.net. Національний авіаційний університет, 03058, Україна, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

### Определение напряженно-деформированного состояния жестких аэродромных покрытий от многоколесной нагрузки сверхтяжелого самолета

**Аннотация.** В статье выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния жестких аэродромных покрытий от многоколесной нагрузки сверхтяжелого самолета. Проанализированы публикации в сфере расчета и конструирования жестких аэродромных покрытий. По результатам численного расчета построены эпюры изгибающих моментов, перемещений и реакций грунтового основания.

**Ключевые слова:** аэродромное покрытие, сверхтяжелое крупнофюзеляжное воздушное судно, напряженно-деформированное состояние, численный расчет.

**Белятинский Андрей Александрович**, д.т.н., проф., заведующий кафедрой реконструкции аэропортов и автодорог, тел. +38 099-138-05-63, beljatynskij@ukr.net.

**Талах Светлана Михайловна**, к.т.н., доц. кафедры реконструкции аэропортов и автодорог, тел. +38 095-157-01-62, svetlanatalah@gmail.com.

**Першаков Валерий Николаевич**, д.т.н., проф. кафедры реконструкции аэропортов и автодорог, тел. +38 068-352-19-43, pershakov@nau.edu.ua.

**Дубик Александр Николаевич**, к.т.н., доц. кафедры реконструкции аэропортов и автодорог, тел. +38 099-102-93-27, saschadubik@ukr.net.

Национальный авиационный университет, 03058, Украина, г. Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.

### The stress-strain state determination of the rigid aerodrome pavements by the impact of multiwheel super-heavy aircraft load

**Abstract. Problem.** Nowadays, due to the increase of the lifting mass of modern aircrafts which are in service at national and foreign airports, the problem of improving the method of calculation of rigid aerodrome pavements due to the action of super heavy wide body aircrafts has become especially relevant. According to the Ukrainian reference documents for aerodrome design, it is not impossible to take into account the actual interaction of finite-size plates. To exclude this disadvantage, it proposed to use finite element method to calculate the rigid aerodrome pavements. **Goal.** The goal is to determine the stress-strain state of the rigid aerodrome pavement due to the action of a multi-wheeled super-heavy aircraft, taking into account the real three dimensional load.

**Methodology.** Analytical and numerical methods (finite element method) of calculation of stress-strain state of the rigid aerodrome pavement due to the action of a multi-wheeled super-heavy aircraft were used. Numerical mathematical and topological models are as close as possible to real structures of rigid pavements. **Results.** Based on the results of numerical calculations, the plot of bending moments, displacements and reactions of the subgrade soil are constructed. The calculated bending moment accord-

ing to the results of the numerical calculation is by 1.43 times more than the value obtained from the analytical calculation. This indicates that the numerical method puts more stringent requirements for the calculation of rigid aerodrome cover than the analytical one. **Originality.** Based on the finite element method the finite size of the aerodrome pavements plates and butt joints between them were taken into account. The butt joint model of concrete slabs provides the conditions of the hinged joint of the slabs – the conditions of zero value of the bending running moments at the joints and the transfer of reactions between the slabs. **Practical value.** The use of the proposed method of the stress-strain state calculation of the rigid aerodrome pavement makes it possible to take into account the actual interaction of finite-size plates of rigid pavements.

**Key words:** aerodrome pavement, super-heavy wide body aircraft, stress-strain state, numerical calculation.

**Andrii Bieliatynskyi**, Professor, Doctor of technical Sciences, Head of the Department of Reconstruction of Airports and Highways, tel. +38 099-138-05-63, beljatynskij@ukr.net.

**Talah Svitlana**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Reconstruction of Airports and Highways, tel. + 38 095-157-01-62, svetlanatalah@gmail.com.

**Valerii Pershakov**, Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of Reconstruction of Airports and Highways, tel. +38 068-352-19-43, pershakov@nau.edu.ua.

**Oleksandr Dubik**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Reconstruction of Airports and Highways, tel. +38 099-102-93-27, saschadubik@ukr.net. National Aviation University, 1, Kosmonavta Komarova ave., Kyiv, 03058, Ukraine.